

補助事業番号 2021M-118

補助事業名 2021年度 磁性体/貴金属積層構造薄膜における磁気表面プラズモン効果と高感度磁気センサへの応用 補助事業

補助事業者名 日本大学 工学部 電子工学科 芦澤研究室 芦澤好人

1 研究の概要

金属と誘電体の界面を伝搬する電子の波である表面プラズモンは、その励起する条件が界面材料の誘電率に強く依存することから、バイオセンサにも応用されている。この誘電率を高感度で計測可能な特性を活かすことにより、表面プラズモンを原理に用いるまったく新しい磁気センサを実現できる可能性がある。しかし、通常の貴金属を用いた表面プラズモン材料では、磁気に対する感受性に乏しいために、磁気センサに用いることは困難である。そこで、磁気感受性の高い材料と表面プラズモンの励起に適する材料を適切に組み合わせた複合構造材料を開発することが重要になってくる。そのため、表面プラズモンの励起する条件を磁場で変えることが可能な複合薄膜構造材料を検討した。

2 研究の目的と背景

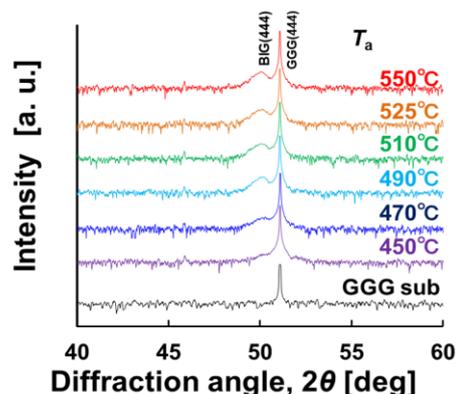
弱磁場で大きな磁気表面プラズモン効果を示す薄膜材料を見出し、磁気センサとして搭載することができれば、世の中になかった新しい磁気センサを実現することが可能になる。現行ではまだ磁気表面プラズモン効果の信号は十分ではなく、また磁気特性についても十分な軟磁気特性が得られていない。そこで、本研究では、軟磁気特性に優れる材料、及び、磁気光学効果が大きいことにより大信号が期待できる材料などの観点から磁気表面プラズモン効果に適する材料の検討を行った。

3 研究内容

(1) 磁気表面プラズモン効果を示す薄膜開発に関する研究

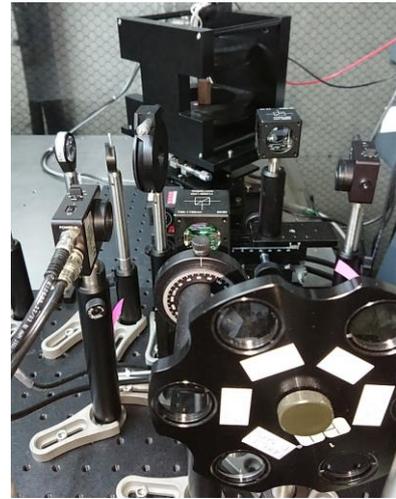
(<http://mail.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/~nalab/>)

ビスマス鉄ガーネット薄膜は、磁気光学効果の大きな材料として磁気表面プラズモン材料として期待される。バルクでは形成されない非熱平衡相であるため、薄膜の成膜手法およびそのプロセスが良質なビスマス鉄ガーネット薄膜形成の鍵となる。そこで、有機金属分解 (MOD) 法を用いてビスマス鉄ガーネット薄膜の作製を行った。MOD法は有機金属を含む溶液を基板に塗布し、熱処理によって溶液から有機物を含む非晶質を形成し、無機物のみを非晶質を経て、



種々の温度で結晶化したビスマス鉄ガーネット薄膜の X 線回折プロファイル

酸化物結晶相を析出させる手法である。特に有機非晶質薄膜から酸化物結晶相の固相エピタキシャル成長過程の解析はこれまで十分でなかった。結晶化温度、及び、無機非晶質相形成温度の熱処理条件の検討を行い、ビスマス鉄ガーネット相が450–550°C程度において形成可能であることを示し、結晶化するための最適な温度が490°Cであることを明らかにした。さらに、有機物を揮発した無機非晶質薄膜形成状態の温度依存性を検討したところ、同じ490°Cの温度で結晶化を行っても、格子定数や磁気光学特性の異なるビスマス鉄ガーネット薄膜が形成されることを示した。



磁気表面プラズモン効果センサの光学系

Gd-Fe薄膜はフェリ磁性を示し組成に対して磁気特性が変化する興味深い材料である。Ag/Gd-Fe/Ag三層薄膜における磁気表面プラズモン効果を計測し、1 kA/mの弱磁場における磁気表面プラズモン効果を観測した。一方、極めて容易に酸化されるため、酸化を抑制する成膜プロセスが重要である。Gd-Fe層成膜時における種々の成膜プロセスを確定し、Ag/Gd-Fe/Ag三層構造におけるAg層の膜厚をGd-Fe層の磁化の経時変化から実験的に確定することに成功した。

Mn-Znフェライト薄膜は軟磁気特性に優れた高周波用材料として知られている。その作製にあたり熱処理条件の検討を行った。Mn-Znフェライトは絶縁性で透磁率が高い磁性材料であり、磁気表面プラズモンの高感度化に寄与することが期待される。スパッタリング法で成膜した段階ではMn-Zn-Feを含む非晶質酸化物として堆積され、その後の熱処理によってスピネル型構造のフェライトが結晶化する。熱処理の雰囲気や温度条件により、形成される酸化物の結晶構造や、磁気特性が大きく異なっているため、その良質な薄膜形成プロセスの確立が重要であった。大気、真空、窒素雰囲気中での低温焼成に加え、結晶化のための窒素雰囲気中高温焼成により、スピネルフェライト相が形成する条件を見出した。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

磁気表面プラズモン効果用の良好な薄膜の開発により、光と磁気を結ぶ新しい研究分野に発展する可能性を秘めている。光を用いて微小領域の磁場を検出する全く新しい磁気センサが実現し、配線不要の光照射のみによる磁気センサや、さらに研究が進むと光コンピューティング等の光回路系に設置可能なセンサへと発展する可能性がある。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

磁気表面プラズモン効果の研究において種々の材料研究が行われてきたが、Fe, Co, Niといった磁性金属を代表するシンプルな単体磁性金属材料や、博物学的な材料種の研究が多く行われていた。信号の増大と高感度化の観点に焦点をあて、磁性体/貴金属積層構造薄膜における材

料研究を行ったことは、応用の観点から有用であった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

これまでに以下の研究発表を行った。

1. “Pre-annealing temperature dependence on magneto-optical effect of bismuth iron garnet films fabricated by metal organic decomposition method”, Yoshito Ashizawa, Hiroyuki Tsuno, Hiroki Hosaka, and Katsuji Nakagawai, Magnetics and Optics Research International Symposium 2022 (MORIS2022), Tu-P-05, May 17, 2022, Kunibiki Messe, Shimane, Japan.
2. “磁気表面プラズモン効果における Ag/Gd-Fe/Ag 三層薄膜の Gd-Fe 膜厚最適化”, 寺内大貴, 芦澤好人, 中川活二, 第 65 回日本大学理工学部学術講演会, C-12, 2021 年 12 月 1 日, オンライン開催.
3. “磁気表面プラズモン効果用 Mn-Zn フェライト相形成に及ぼす熱処理条件の影響”, 石橋佳大, 黒岩海斗, 芦澤好人, 中川活二, 第 65 回日本大学理工学部学術講演会, C-11, 2021 年 12 月 1 日, オンライン開催.
4. “有機金属分解法で作製した $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ 薄膜における Bi 含有量と微細構造”, 保坂弘輝, 津野宏之, 芦澤好人, 中川活二, 第 65 回日本大学理工学部学術講演会, C-10, 2021 年 12 月 1 日, オンライン開催.
5. “有機金属分解法におけるビスマス鉄ガーネット薄膜の形成過程の解析”, 津野宏之, 保坂弘輝, 芦澤好人, 中川活二, 第 65 回日本大学理工学部学術講演会, C-9, 2021 年 12 月 1 日, オンライン開催.
6. “Ag/Gd-Fe/Ag 三層薄膜の磁気表面プラズモン効果”, 宇田川嵩登, 寺内大貴, 芦澤好人, 中川活二, 令和 3 年 電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 3-C-p2-1, 2021 年 9 月 3 日, オンライン開催.

7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 日本大学 理工学部 (ニホンダイガクニコウガクブ)

住 所: 〒274-8501

千葉県船橋市習志野台7-24-1

担 当 者: 准教授 芦澤好人(アシザワヨシト)

担 当 部 署: 電子工学科(デンシコウガクカ)

E - m a i l: ashizawa.yoshito@nihon-u.ac.jp

U R L: <http://mail.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/~nalab/>